07장

# 산소와 플로지스톤

20140457 경영학과 김다현
20141291 큐레이터학과 김환희
20151220 큐레이터학과 안서연
20151227 큐레이터학과 조근란
20141293 큐레이터학과 도경혜

PART

# 2

과학철학에
실천적 감각 더하기

## 『 Prior to the Beginning 』

과학지식
Scientific knowledge

&

과학사
History of science

" 우리가 과학지식과 과학사를 배워야 하는 이유? "

✓ 과학지식을 알아야 과학철학을 이해할 수 있고, 왜 그러한 논쟁들이 이루어지는지 알 수 있기 때문

**기하학적 동등성**

프톨레마이오스 이론

코페르니쿠스 이론

✓ 과학사를 알아야 현재 우리가 받아들이는 지식의 진짜 기반이 무엇인지를 알 수 있기 때문

천동설 ⇢ 지동설

등속 원운동 ⇢ 부등속 타원운동

# Index

01 / 화학에서 왜 혁명이?

02 / 나름대로 훌륭했던 플로지스톤 화학

03 / 산소 패러다임과 플로지스톤 패러다임의 경쟁

04 / 왜 산소를 산소라 했는가 : 산소 패러다임의 미해결 문제들

05 / 플로지스톤을 꼭 죽여야만 했을까

# 『 과학사의 첫 사례 : 화학혁명 』

라봐지에가 플로지스톤 개념을 기반으로 한 화학체계를 배격하고
산소 개념을 중심으로 자신의 화학체계를 확립한 사건

# 『 왜 라봐지에의 업적을 화학혁명이라고 하는가? 』

❖ 이전에는 없었던 새로운 사실들을 발견???

❖ " 혁명 " → 기존의 체계를 뒤집어 엎었다는 말

▪ NEW 패러다임 : " 이미 다 알고 있던 현상 "을 전혀 다르게 해석하면서 새로운 패러다임을 내놓은 것

# 『 라바지에의 화학체계에서 가장 유명한 부분 』

❖ 산소의 발견

❖ 산소의 화학적 역할에 대한 이론

“ 산화 ”

**연소**

- 물질이 타는 것 = 산소와 결합하는 산화 과정

**녹슮**

- 금속이 녹스는 것 = 아주 천천히 일어나는 산화 과정

**호흡**

- 모든 생물의 생리작용은 화학적인 것 → 산소가 중요한 역할
- 모든 생물은 섭취한 음식물을 산화시켜 에너지를 get

탄소 + 산소 = 이산화탄소

- 산소를 마시고 이산화탄소를 뱉어내는 것 = 산소와 결합하는 산화 과정

❖ 화학에서 원소가 어떤 의미인지를 정의

❖ 새로운 화학용어 : 산소(Oxygen) / 수소(Hydrogen) / 열소 (Caloric)

❖ 측정의 중요성을 잘 이해한 라봐지에

- 화학반응을 연구할 때 들어가는 물질과 나오는 물질의 질량을 모두 정확하게 측정하여 화학적 계산서를 작성
- 질량보존법칙

# 『 플로지스톤 이론 』

❖ 독일의 화학자 베허(스승)와 슈탈(제자)에 의해 정립된 이론

❖ 플로지스톤

- 고대 그리스어 “ 태운다 ”는 말 “ Plogizein ” 기반
- 독일어 : 플로기스톤
- 타는 기운

〈 가연성 물질 〉

〈 연소 〉

## ❖ 자연스럽고 직관적인 이해

- 가연성 물질 속에는 불꽃이 잠복하고 있지 않을까? → 불꽃의 원소 = 타는 기운 = 플로지스톤
- 플로지스톤이 빠지고 나면 모든 물질의 매끈하고 반반한 성질이 없어지는군!

가연성 물질 - 플로지스톤 = 재

↓

나무토막 - 플로지스톤 = 재 " 연소 "

↓

금속 - 플로지스톤 = 금속회 " 녹슮 "

↓

플로지스톤 = 신기한 지방질 = 물질을 기름지게 하는 요소 " 생화학 "

**플로지스톤 이론은 에너지 개념이 없었던 18세기 화학에서**

**상당한 설득력을 가진 최고의 이론이었으며,**

**라봐지에 역시 이 이론을 교육받고 자랐음**

연소

Phlogiston

녹슮 생화학

호흡 녹슮

Oxygen

연소

# 『 변칙사례를 발견한 라봐지에 』

❖ 플로지스톤 이론에 의하면…

- 금속이 녹스는 과정 = 금속에서 플로지스톤이 빠져나가는 현상 → 질량이 줄어들 것

But

금속이 녹이 슬면 더 무거워진다는 사실이 발견됨


❖ 라봐지에의 재해석

- 연소할 때 뭔가가 빠지는 것이라면 질량이 줄어야 하는 것 아닌가? 왜 질량이 늘어난 거지?
- 금속 뿐만 아니라 인과 유황도 태워봄 → 인과 유황 역시 질량이 늘어남을 확인

NEW 패러다임

- 물질이 탈 때 질량이 늘어난다면 무엇인가가 더해지는 것이지 빠지는 것은 아닐 것 !
- 산소의 발견 이후 : 연소란 플로지스톤을 잃는 것이 아니라 산소를 얻는 것이라고 해석 !

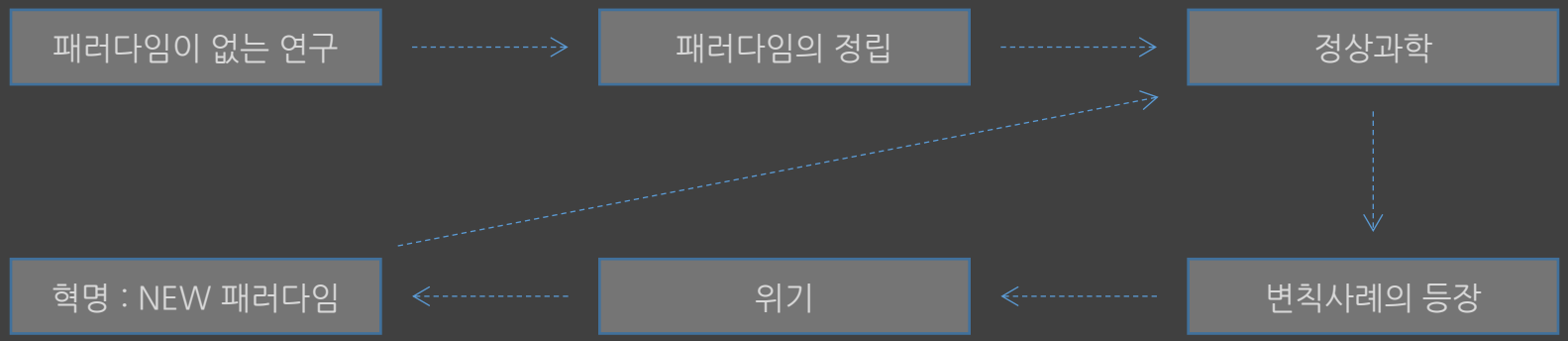
# 『 화학혁명을 재조명하는 이유 』

✓ 통상적인 과학의 오해를 수정할 필요가 있기 때문

➢ 라봐지에가 산소를 발견???

➢ 새로운 화학의 체계를 세웠다???

✓ 토마스 쿤의 과학혁명 이론을 재조명할 수 있는 기회




✓ 이미 폐기된 과학에서도 배울 점이 있기 때문

## 플로지스톤의 실용성

" 플로지스톤 같은 상상의 물질로
금속회를 다시 금속으로 만들 수 있는가??? "

Sure, we can!

# 플로지스톤의 실용성

- ✓ 금속이란 금속회와 플로지스톤이 합쳐진 것
- ✓ 금속회와 플로지스톤이 풍부한 다른 물질을 섞어 금속으로 환원이 가능
- ✓ 플로지스톤이  풍부한 물질 = 타는 기운이 풍부한 물질 = 가연성 물질 = 숯

금속회(녹) + 플로지스톤 = 금속

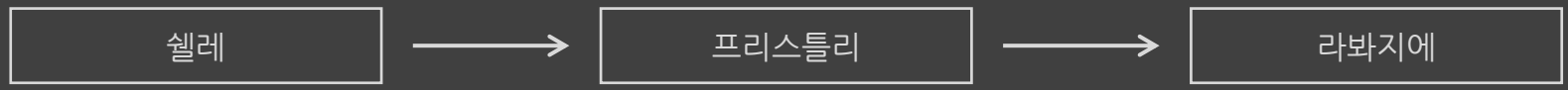
금속회 + 숯 = 금속회 + (플로지스톤+재)

▶ (금속회 + 플로지스톤) + 재

▶ 금속 + 재

# 플로지스톤 화학 ▶ 산소의 발견

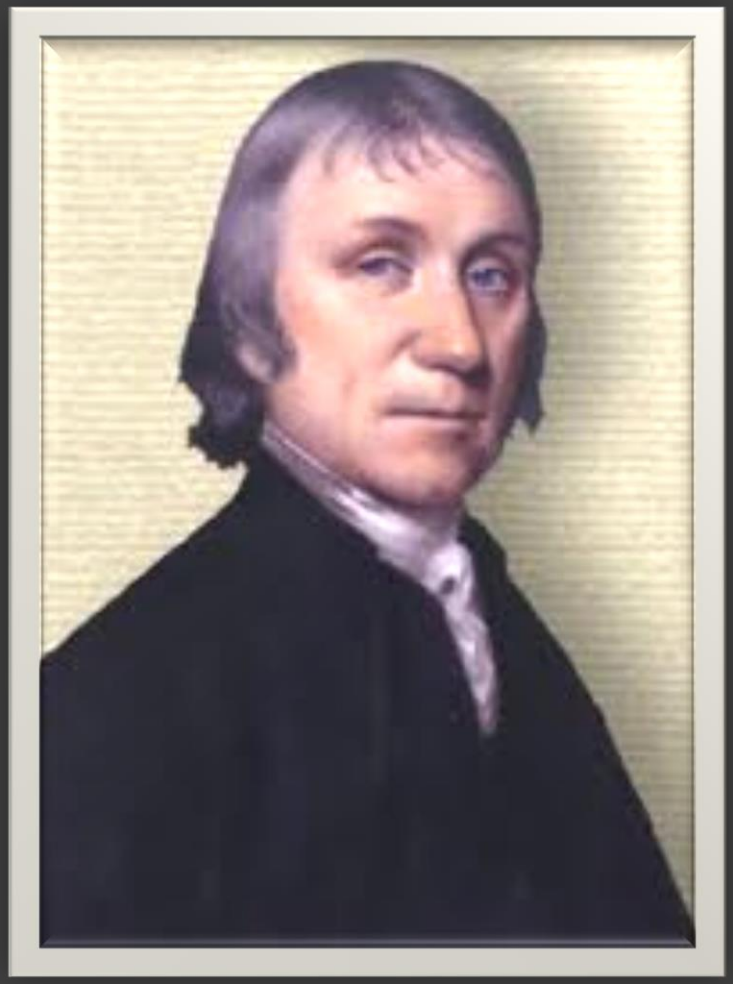
산소는 라봐지에가 최초로 발견한 것이 아니다




라봐지에는 프리스틀리로부터 산소 실험을 배웠고,

이를 재현한 후 새롭게 해석한 것!

# 프리스틀리의 기체과학



프리스틀리 (Joseph Priestley, 1733~1804)

❖ 신학자

❖ 산소를 비롯해 암모니아, 염화수소,
일산화탄소(연탄가스) 등
10여 가지의 새로운 기체 발견 및 연구

❖ 탄산수 발명

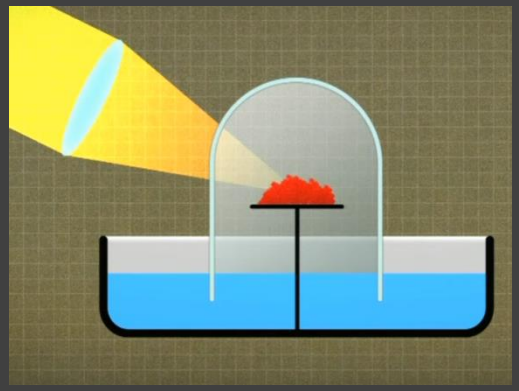
# 프리스틀리의 기체과학

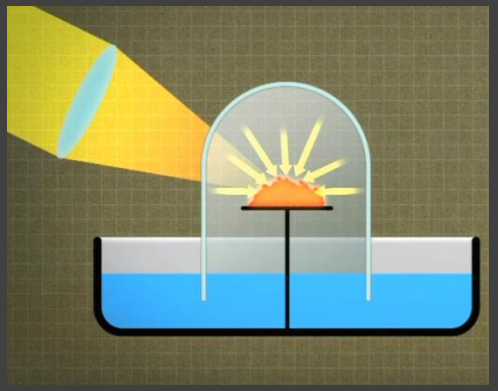
## 산소의 발견

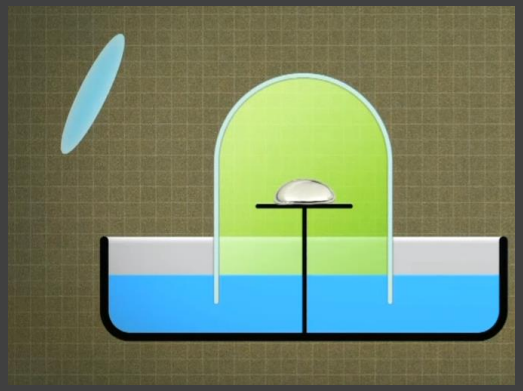
- ❖ 금속회(녹) + 플로지스톤 = 금속
- ❖ 금속을 만드는 실험을 밀폐된 공간에서 한다면???
- ❖ 공기에 있는 플로지스톤을 뽑아 금속회에 넣어줄 수 있을 것!
- ❖ 공기는 플로지스톤이 결핍된 상태로 변화될 것으로 추측

# 프리스틀리의 기체과학

## 산소의 발견







➢ 보통 공기를 채운 유리병에 금속회를 넣고, 큰 렌즈로 햇빛을 모아서 아주 뜨겁게 가열

➢ 공기의 성질이 변하는 대신 금속회에서 새로운 기체가 나와버림

새로운 기체 = 탈 플로지스톤 공기 = 산소

# 프리스틀리의 기체과학

## 산소의 특징

- 산소가 든 공간 안에서 물질을 태우면 매우 잘 탐

### Why???

- 산소 = 플로지스톤이 결핍된 공기
  - ▶ 플로지스톤을 회복하고 싶어함
  - ▶ 주위에 있는 다른 물질에서 플로지스톤을 빨아들이려 함

- 연소 = 가연성 물질에서 플로지스톤을 빼내는 과정

→ **산소는 연소를 촉진**

플로지스톤 패러다임 주장 : 캐븐디쉬

『 캐븐디쉬의 실험(1766년) : 금속을 산에 녹이는 실험 』

1. 묽은 산에 아연을 넣으면 아연에 기포가 생기는 것을 볼 수 있음
2. 이 기포(기체)를 모아 불을 붙이면 펑하고 터짐
3. 캐븐디쉬는 이 기포(기체)를 순수 플로지스톤 공기로 보았고, 이를 " 가연소 공기 " 라고 부름

나중에 이 순수 플로지스톤 공기인 " 가연소 공기 "는 라봐지에에 의해 " 수소 "라고 불리게 됨

▶ 금속은 플로지스톤이 많이 포함된 물질

▶ 산이 금속을 공격하여 금속을 플로지스톤과 금속회로 분해시킨다고 생각

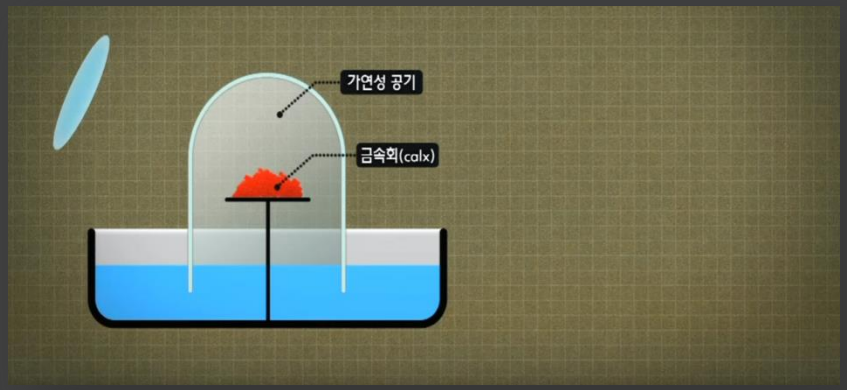
▶ 금속으로부터 분리된 플로지스톤은 기체형태로 나옴

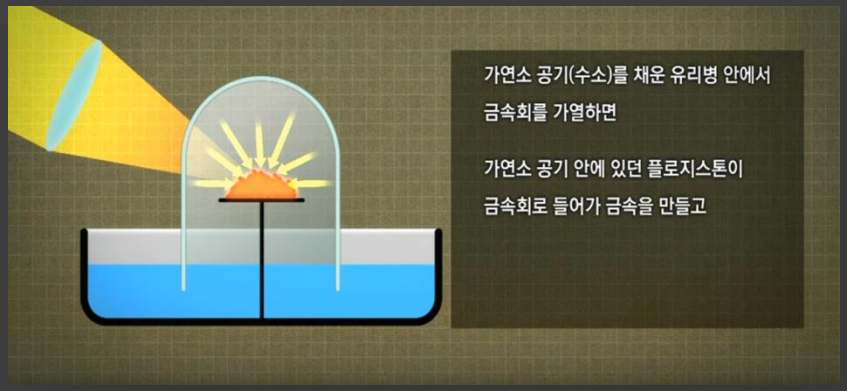
▶ 금속으로부터 분리된 금속회는 산에 녹아버림

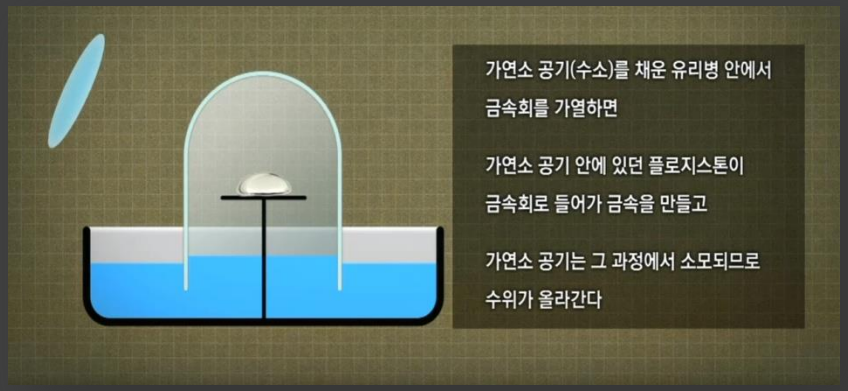
▶ 실제로 금속회를 산에 넣으면 거품 없이 녹음

플로지스톤 패러다임 주장 : 프리스틀리

# 가연소 공기(수소) 속에서 금속회를 환원시키는 실험





플로지스톤 패러다임 주장 : 프리스틀리

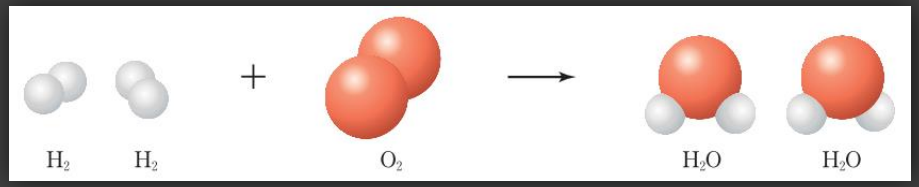
## 가연소 공기(수소) 속에서 금속회를 환원시키는 실험에 대한 프리스틀리의 주장

- ❖ 금속이 플라지스톤을 빨아먹으면서 금속회가 금속으로 환원 되었군!
- ❖ 금속회가 플로지스톤을 흡수했다는 증거 : 물 수위 상승
- ❖ 프리스틀리는 자신의 예측이 맞았고 실험이 성공적이라고 생각함

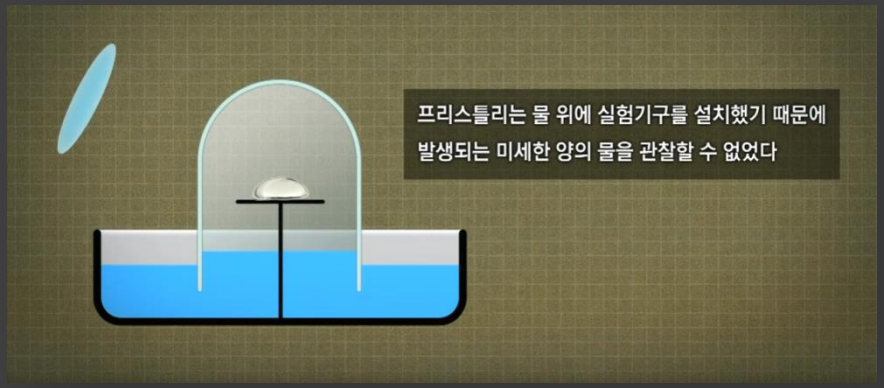
산소 패러다임 주장 : 라봐지에

# BUT 라봐지에는 프리스틀리의 실험이 자기 이론과 맞아떨어지도록 재해석!

- 금속회 = 금속 + 산소
- 금속회를 가열하면 금속회가 금속과 산소로 분리될 것!
- 금속회로부터 분리된 산소는 가연성 공기와 결합하여 무언가 다른 물질을 형성할 것이라고 예측
- 이러한 예측의 근거 : 캐븐디쉬의 연구 → " 가연성 공기가 탈 때 물이 형성된다 "
- 라봐지에는 이 가연성 공기에 수소(물을 낳는 자)라는 이름을 붙임
- 라봐지에는 물이 산소와 수소가 결합한 화합물이라고 결론을 내림(물은 원소가 아님을 밝혀냄)

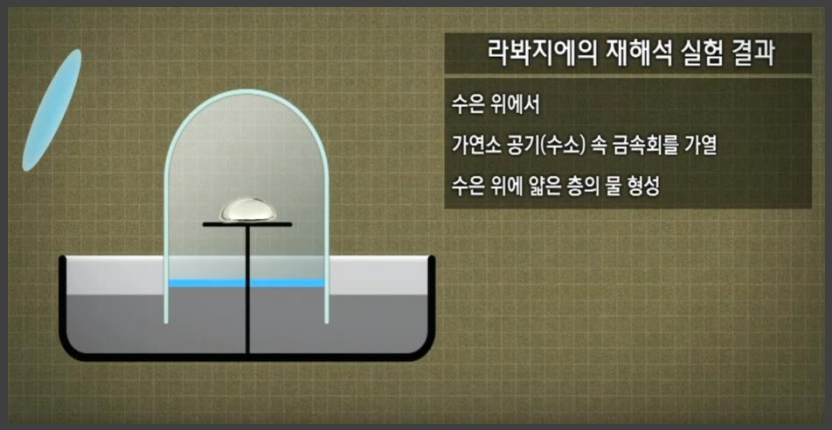


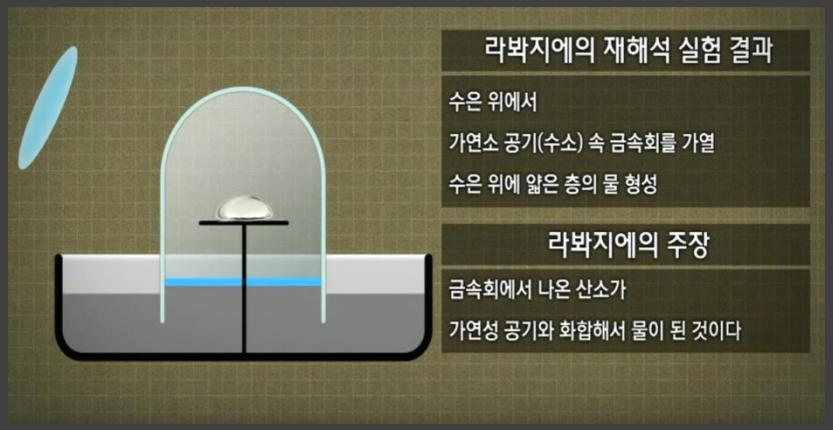

- 왜 프리스틀리의 실험에서는 물이 나왔다는 말이 없는가??? → 물 위에서 실험을 했기 때문!



산소 패러다임 주장 : 라봐지에

# 가연소 공기(수소) 속에서 금속회를 환원시키는 실험

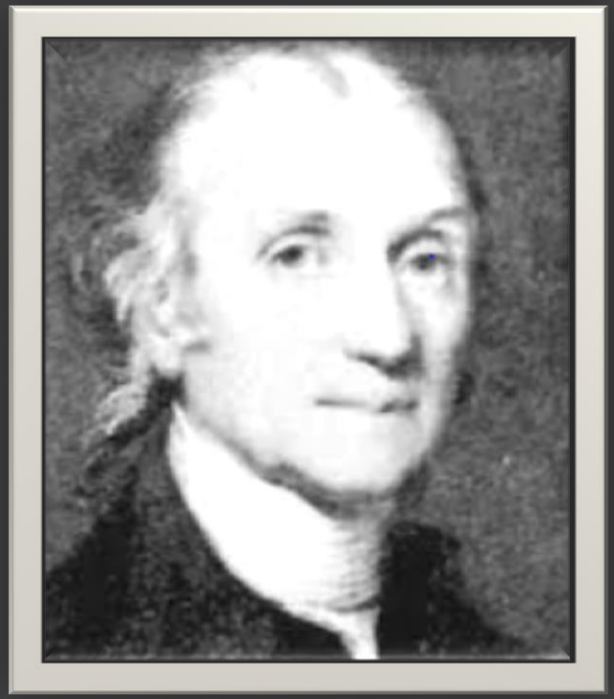


플로지스톤 패러다임 주장 : 캐븐디쉬

## BUT 라봐지에의 재해석에 대한 캐븐디쉬의 또 다른 재해석

가연성 공기가 순수한 플로지스톤이라고 했던 것은 실수였다고 인정

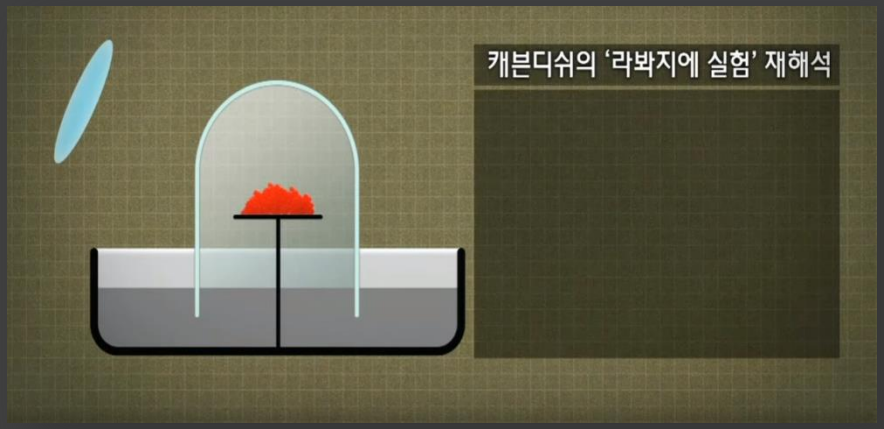


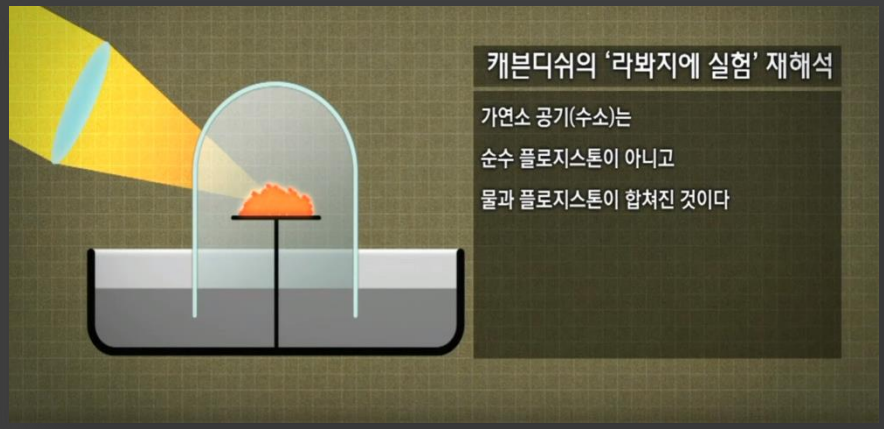
## 가연성 공기(수소) = 물 + 플로지스톤

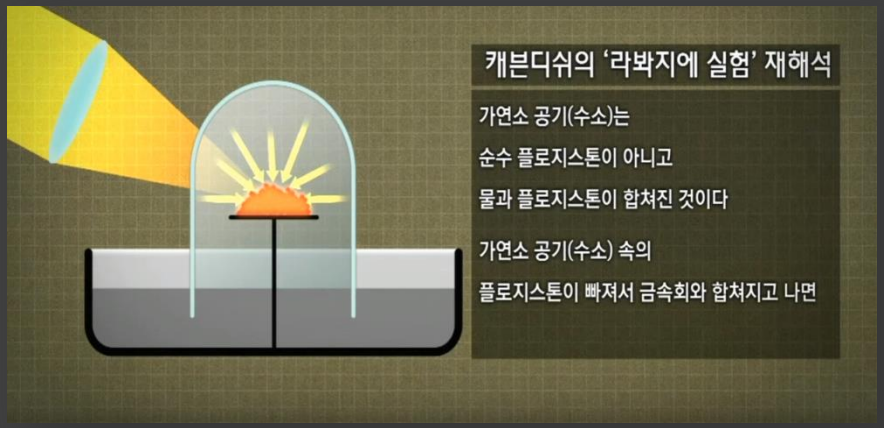
탈 플로지스톤 공기(산소) = 플로지스톤이 결핍된 물

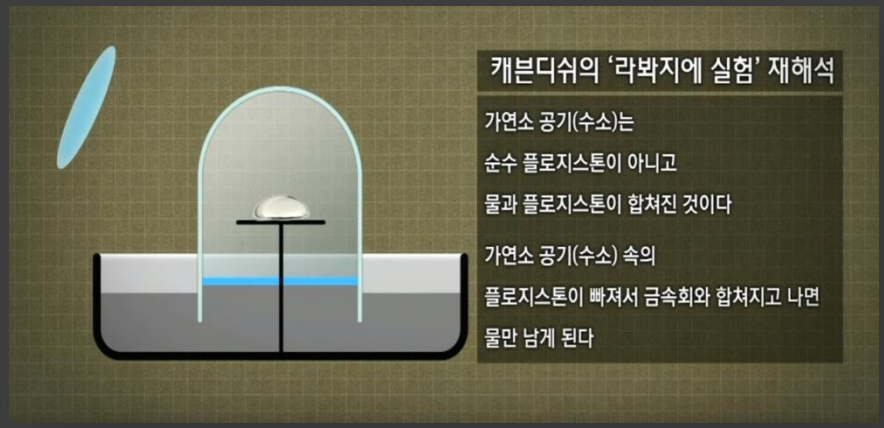
플로지스톤 패러다임 주장 : 캐븐디쉬

# 가연소 공기(수소) 속에서 금속회 환원



『 물 논쟁 』 → 결론이 나지 않음

〈 라봐지에 〉

자신이 이겼다고 선언

VS

〈 캐븐디쉬 〉

라봐지에 말도 맞고 자신의 말도 맞다

❖ 캐븐디쉬는 플로지스톤 이론과 산소 이론 두 가지 다 나름대로 말이 되고 정합성이 있다고 평가했다.

# 『 이론의 미결정 상태 』

" 두 이론이 경쟁을 하고 있는 상황 속에서
주어진 관측이나 실험을 증거로 판단할 때
그 중 어느 이론이 옳은지 확실하지 않은 상황 "

## ❖ 판단기준의 차이가 확실히 존재

**〈 플로지스톤 패러다임 〉**

✓ 금속의 성질은 모두 비슷하다고 생각했고,
이러한 금속의 공통점을 중요시하였음

✓ 질량을 측정하는 것을 중요하게 여기지 X

**〈 산소 패러다임 〉**

✓ 금속이 공통적 성질을 보여야 할
깊은 이유가 없다고 생각

✓ 질량 분석을 최고의 방법으로 간주

## 성급한 일반화 : 산소를 “ 산소 ”라고 부르는 이유?

❖ 산소의 ‘산(acid)’

❖ 라봐지에의 잘못된 이론에서부터 출발

❖ 산소 = 산성의 근원

1) 황과 인의 연소물을 물에 녹였더니 용액이 산성을 띠는 것을 확인

2) 산소가 황과 인과 결합해서 산성을 띠게 만드는 것이라는 성급한 일반화를 하게 됨

- 사실은 황 또는 인의 산화물이 물에 들어가 수소와 결합해서 산성을 띠게 되는 것 !

❖ “ oxygène ” 의 “ oxy- ” : “ 날카롭다 ”, “ 시다 ”, “ 산성이다 ”

# 라봐지에의 오리-토끼 식 " 산(acid) " 이론

## 1. 플로지스톤 이론에서 차용

슈탈의 플로지스톤설 : 물질에는 플로지스톤이라는 입자가 있어 연소 과정에서 빠져나감으로 질량이 감소

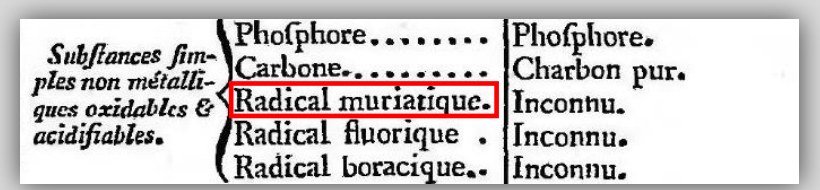
**슈탈 - " 황을 태우면 플로지스톤이 빠져나가면서 황이 산성화 되는 거야 "**
**라부아지에 - " 아니야, 황에 산소가 합쳐져 황산이 되는 거야 "**

**" 라봐지에의 재해석 : 플로지스톤이 빠진다는 것 → 산소가 더해지는 것 "**

## 2. 모든 산에는 산소가 있다

예) 염산에는 산소가 절대적으로 포함되어 있다

염산 = 산소 + **X(염산 기)**




**" 이론이 관측과 어긋나는 부분이 있어도 흔들리지 않음 "**

**▲ 오리-토끼**
(똑같이 감지한 것도 이론적 배경이 다른 사람들은 서로 다르게 해석하는 관찰의 이론적재성)

# 실증적 문제 : 라봐지에의 연소이론

## 〈 라봐지에 관점 〉

### 1. 탄소의 연소반응

- ❖ 연소를 뒷받침하는 것은 **기체상태의 산소가스**
- ❖ 기체는 물질에 많은 열을 가한 것
- ❖ 열은 화학물질 → (열소)

**탄소 + 산소가스**
**= 탄소 + (산소 기 + 열소)**
**→ 산화탄소 + 열소**

### 2. 화약 연소 시, 발생하는 열의 출처

- 화약은 주변에 산소가 없어도 잘 타고 폭발한다
- 화약 자체에 포함되어 있는 산소 = 고체상태

- ❖ 열의 출처? → 설명 불가

## 〈 현대적 관점 〉

### 1. 탄소의 연소반응

- ❖ 완전 연소의 경우

$$C(s) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g)$$

- ❖ 불완전 연소의 경우

$$C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \longrightarrow CO(g)$$

### 2. 화약 연소 시, 발생하는 열의 출처

- ❖ 화약은 고체 또는 액체 폭발성 물질로서 일부분에 충격 또는 열을 가하면 **순간적으로 전체가 기체물질로 변하고 동시에 다량의 열을 발생**하면서 기체의 팽창력에 의해 유효한 일을 한다

- ❖ 2 KNO3 + S + 3 C → K2S + N2 + 3 CO2

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.

| | Noms nouveaux. | Noms anciens correſpondans. |
|---|---|---|
| Subſtances ſimples qui appartiennent aux trois règnes & qu'on peut regarder comme les élémens des corps. | Lumière | Lumière. |
| | Calorique | Chaleur.<br>Principe de la chaleur.<br>Fluide igné.<br>Feu.<br>Matière du feu & de la chaleur. |
| | Oxygène | Air déphlogiſtiqué.<br>Air empiréal.<br>Air vital.<br>Baſe de l'air vital. |
| | Azote | Gaz phlogiſtiqué.<br>Mofete.<br>Baſe de la mofete. |
| | Hydrogène | Gaz inflammable.<br>Baſe du gaz inflammable. |
| Subſtances ſimples non métalliques oxidables & acidifiables. | Soufre | Soufre. |
| | Phoſphore | Phoſphore. |
| | Carbone | Charbon pur. |
| | Radical muriatique | Inconnu. |
| | Radical fluorique | Inconnu. |
| | Radical boracique | Inconnu. |
| Subſtances ſimples métalliques oxidables & acidifiables. | Antimoine | Antimoine. |
| | Argent | Argent. |
| | Arſenic | Arſenic. |
| | Biſmuth | Biſmuth. |
| | Cobolt | Cobolt. |
| | Cuivre | Cuivre. |
| | Etain | Etain. |
| | Fer | Fer. |
| | Manganèſe | Manganèſe. |
| | Mercure | Mercure. |
| | Molybdène | Molybdène. |
| | Nickel | Nickel. |
| | Or | Or. |
| | Platine | Platine. |
| | Plomb | Plomb. |
| | Tungſtène | Tungſtène. |
| | Zinc | Zinc. |
| Subſtances ſimples ſalifiables terreuſes. | Chaux | Terre calcaire, chaux. |
| | Magnéſie | Magnéſie, baſe du ſel d'Epſem. |
| | Baryte | Barote, terre peſante. |
| | Alumine | Argile, terre de l'alun, baſe de l'alun. |
| | Silice | Terre ſiliceuſe, terre vitrifiable. |

## 『 화학원론(Traité élémentaire de chimie) 』

- 프랑스 화학자 라부아지에의 저서
- 1789년에 출간되었으며, 화학이론을 체계적으로 정리
- 최초의 근대적 화학교과서

나의 '열소'에 대한 사랑은 아무도 막을 수 없지 !

- ❖ 열소: 가장 기본적인 화학원소
- ❖ 화학원소 목록에서의 최상위권 순위
  산소, 수소보다도 더 먼저 올려놓음
- ❖ 교과서의 제1장에 수록
  열소의 성질과 화학적 역할에 관한 논의를 가장 먼저 시작

# 플로지스톤을 꼭 죽여야만 했을까

✓ 둘 다 각자 훌륭한 체계를 가지고 있었음

➢ 연소 / 금속회 / 화학작용 → 설득력 있는 해석을 제시

✓ 각 체계 모두 장점과 단점을 지니고 있었음

➢ 양쪽 다 일리가 있었고, 양쪽 다 문제가 있었음

| | | |
|---|---|---|
| 플로지스톤 화학체계 | » | 금속은 녹이 슬면 더 무거워진다는 관측 사실로 인해 모순 발생 |
| 라봐지에 화학체계 | » | 산소가 산의 근원이라는 잘못된 이론을 기반으로 산소라고 명명 |

✓ 한 쪽이 확실히 우월했기 때문에 승패가 갈린 것이 아님

➢ 이론의 미결정 상태(Underdetermination)

# 『 만약 플로지스톤 이론을 살려두었다면? 』

❖ 화학의 진보에 더 많은 기여를 했을 것

- 캐븐디쉬의 수소 연구
- 프리스틀리의 산소 연구
- 라봐지에의 물 연구 → 수소 + 산소 = 물

❖ 화학 에너지의 개념으로 발전했을 것

❖ 플로지스톤 → 전자를 지칭

- 현대적 산화 개념 : 전자를 잃는 것
- 현대적 환원 개념 : 전자를 얻는 것

} 산소와 관련 X

❖ 올친 : 플로지스톤 이론을 통해 현대의 산화·환원 개념을 가르쳐도 학생들은 잘 이해한다

“과학사에서 대부분의 승패는 잘 들여다보면 간단하지 않고,

그 역사를 승자의 입장에서만 보면 재미도 없고 이득도 없다.”

# Thank You For Listening !

Q & A